

EESTI MAAÜLIKOOL

Metsandus- ja maaehitus instituut

Metsakorralduse osakond



Sandra Kaasiku

**RAIETE MÕJU MÄNNIPUUDE RADIAALKASVULE JÄRVSELJA
HARVENDUSRAIE KATSEALA ANDMEIL**

**THE EFFECT OF THINNING ON SCOTS PINE RADIAL GROWTH IN
JÄRVSELJA ON THINNING EXPERIMENTAL PLOTS DATA**

Bakalaureusetöö

Loodusvarade kasutamise ja kaitse õppekava

Juhendajad: dotsent Maris Hordo, *PhD*

professor Hardi Tullus, *PhD*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Sandra Kaasiku		Õppekava: Loodusvarade kasutamine ja kaitse	
Pealkiri: Raiete mõju männipuude radiaalkasvule Järvelja harvendusraie katseala andmeil			
Lehekülgi: 31	Jooniseid: 10	Tabeleid: 3	Lisasid: 1
Osakond:		Metsakorralduse osakond	
Uurimisvaldkond:		Dendrokronoloogia	
Juhendaja(d):		Maris Hordo, Hardi Tullus	
Kaitsmiskoht ja aasta:		Tartu, 2017	
<p>Bakalaureusetöö eesmärk on analüüsida, kuidas Järvelja harvendusraie katsealal läbi viidud raied on mõjutanud sealsete männipuude radiaalkasvu. Töös kasutatavad puursüdämike andmed koguti Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekti „Puistus toimunud häiringute tuvastamine dendrokronoloogiliste meetoditega“ raames aastal 2011. Katseala jaguneb kolmeks: esimesel alal viidi läbi tugev harvendusraie, teisel alal mõõdukas ning kolmas ala jäeti kontrollalaks, kus raieid läbi ei viidud.</p> <p>Raiete mõju puude radiaalkasvule analüüsiti Excel ja R vahenditega graafiliselt ning kasutati suhtelise häiringu meetodit (<i>Relative Growth Change - GC</i>) ning kattuvate ajajärgude analüüsi meetodit (<i>Superposed Epoch Analysis - SEA</i>).</p> <p>Töö tulemustes selgub, et raied on mõjutanud puude radiaalkasvu positiivselt. Arvutatud keskmised diameetrid ning aastarõngaste laiused näitavad, et suurimad on need tugevalt raiutud alal ja väikseimad kontrollalal. Suhtelise häiringu meetodil leidsime suhtelise juurdekasvumuutuse protsentides. Tugevalt raiutud ala suhteline juurdekasvumuutus on võrreldes teiste aladega suurim ning enim kõikuv, joonistuvad välja raiejärgsed kasvuvabanemised. Mõõdukalt raiutud alal on juurdekasvumuutus ühtlasem, peale viimast raie suuremaid kõikumisi näha ei ole. Kõige ühtlasema kasvuga puud olid kontrollalal. Kõigil kolmel alal täheldati suuremat kasvumuutuste protsenti varasematel aastatel. Olenemata sellest, et kontrollalal raieid läbi ei viidud, leidsime katsealade kasvutrendide vahel sarnasusi, mis võib viidata muule mõjutajale. Kattuvate ajajärgude analüüsiga vaadeldi kuidas raied kajastuvad juurdekasvuindeksite seerias 5 aastat enne raie ning 5 aastat pärast raie. Nähtavad tulemused saadi ainult tugeva raiega ala puhul, mis näitas positiivseid muutusi pärast raie esimese ning teise aasta jooksul. Mõõdukalt raiutud ala puhul märkimisväärsed muutusi juurdekasvuindeksite seerias ei täheldatud ning kontrollalal ei olnud võtmesündmusi, mida analüüsida.</p>			
Märksõnad: harvendusraied, radiaalkasv, raie mõju, suhtelise häiringu meetod, kattuvate ajajärgude analüüs			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Sandra Kaasiku		Specialty: Natural Resources Management	
Title: The effect of thinning on Scots pine radial growth in Järvselja on thinning experimental plots data			
Pages: 31	Figures: 10	Tables: 3	Appendixes:1
Department:		Forest Management	
Field of research:		Dendrochronology	
Supervisors:		Maris Hordo, Hardi Tullus	
Place and date:		Tartu, 2017	
<p>The aim of this thesis is to analyse how thinning on Järvselja experimental plot has affected Scots pine radial growth. The samples were collected in 2011, during the project of Environment Investment Centre's "Ascertainment of stand disturbances using dendrochronological methods".</p> <p>The experimental plot is divided into three separate areas: first area was heavily thinned, on second area moderate thinning was made and the third area was control area where no thinning was made.</p> <p>Thinning effect on radial growth was analysed graphically using Relative Growth Change (GC) and Superposed Epoch Analysis (SEA) methods with Excel and R tools.</p> <p>In results we see that thinning had positive impact on scots pine radial growth. Calculated mean diameter increments and ring widths were bigger on heavily thinned area and the smallest on control area. Using relative growth change we found relative increment changes in percentages. Relative increment changes were the biggest on heavily thinned area and growth releases after thinning were revealed. On moderately thinned area the growth change is slightly smoother and after the last thinning no bigger fluctuations can be seen. The most uniform growth had the control area trees. Bigger increment growth change percentages were seen in previous years and that phenomenon occurred on all three areas. Despite the fact that on control area no thinning was made, all three areas had similarities in their growth trends, which indicates on another growth limiting factor. With superposed epoch analysis we analysed how thinning reflects in increment index series 5 years before thinning and 5 years after thinning. Positive results were found only heavily thinned area. It showed us that, on first and second year after thinning increment changes were positive. On moderately thinned area no remarkable changes were found and on control area we did not have event to analyse.</p>			
Keywords: thinning, radial growth, effect of thinning, relative growth change, superposed epoch analysis			

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1. MATERJAL JA METOODIKA	7
1.1 Materjal	7
1.2 Väli- ja labortööd	8
1.3 Andmete analüüs	9
2. TULEMUSED.....	11
2.1. Radiaalkasvu analüüs	11
2.2. Raie mõju hindamine radiaalkasvule suhtelise häiringu ja kattuvate ajajärgude analüüsi meetodil.....	17
ARUTELU	20
KOKKUVÕTE.....	22
SUMMARY	24
KASUTATUD KIRJANDUS	26
LISAD	29
Lisa I. Takseerandmed	30

SISSEJUHATUS

Mets on üks olulisemaid loodusvarasid Eestis. Pärast II maailmasõda, kui põllumajanduse populaarsus langes, hakkas metsade pindala suurenema. Tänapäevaks on enamus selle aja metsadest juba raieküpse vanuse saavutanud, tänu millele on viimaste aastakümnete raiemahud suurenenud (Eesti metsanduse arengukava aastani 2020). Kui aastal 1993 oli raiemaht $2\,547\,647\text{ m}^3$, siis aastal 2014 oli see $13\,158\,671\text{ m}^3$ (Merenäkk *et al.* 2016). Raied on olulised nii metsamajanduslikest kui ka metsakasvanduslikest aspektidest, ning seetõttu on oluline osata hinnata ja prognoosida nende mõju metsade tootlikkusele (Hynynen 1995). Raied jagunevad erinevatesse liikidesse ning igal on oma eesmärk. Hooldusraiete eesmärk on metsade tootlikkust suurendada, kujundades puistu koosseisu ning parandades kasvutingimusi, kuid paratamatult võib see endaga kaasa tuua stressi (Tullus 2002). Samuti toimuvad pidevad muutused keskkonnatingimustes ja metsamajanduslikes eemärkides, mis loovad vajaduse omada asjakohast informatsiooni puude kasvu kohta (Hordo 2011). Puude aastarõngaste mustrisse salvestub informatsioon, mida saab kasutada maapealse puidu biomassi süsinikubilansi või metsamajandamise mõju hindamiseks, lisaks saab veel teadmisi puidu vanuse ning kasvumuutuste kohta (Worbes, Fichtler 2011).

Dendrokronoloogia on teadus, mis kasutab puu aastarõngastesse salvestatud informatsiooni, et hinnata toimunud muutusi ümbritsevas keskkonnas (Gartner *et al.* 2002). Aastarõngad on väärtuslikud vahendid mõistmaks puude kasvu ning nende kasvureaktsioone (Spiecker 2002). Aastarõngastes peegelduvad kõik ümberkaudsed keskkonnamuutused, mis mõjutavad puu kasvukäiku ühest kasvuhooajast järgmiseni ning tänu sellele võimaldab vaadelda sündmuste varieeruvust (Speer 2010). Dendrokronoloogilisi meetodeid kasutatakse tihti metsanduslikes uurimustes, et kindlaks teha kliimamuutuste ning muude kasvutingimuste muutuste mõju puudele.

Dendrokronoloogilisi meetodeid puistu kasvutingimuste uurimiseks on kasutatud ka mujal maailmas. Üks esimesi, kes aastarõngaste alaseid uurimusi läbi viis, oli Julius Adolph Stöckhardt, aastal 1871 uuris ta õhusaastatuse mõju puude aastarõngastele (Länelaid 1999). Tänapäevaks on uurimistöid rohkem läbi viidud, näiteks uuriti Belgias, kuidas harvendusraied mõjutavad hariliku kuuse reageerimist põuale, viidi läbi erineva

intensiivsusega raied ning analüüsi puude aastarõngaid (Laurent *et al.* 2003). Soomes uuriti, kuidas harvendusraied ja harvendused mõjuvad noorele männipuistule (Pukkala *et al.* 2002). Kliimamuutuste ning harvenduste mõju männipuistutele on uuritud ka Bulgaarias Rila mäestikus (Dimitrov *et al.* 2011). Eestis on raieid dendrokronoloogiliste meetoditega uuritud vähem. Raiutud puistutelt on juurdekasvuproove kogunud ning uurinud Erich Lõhmus (1992).

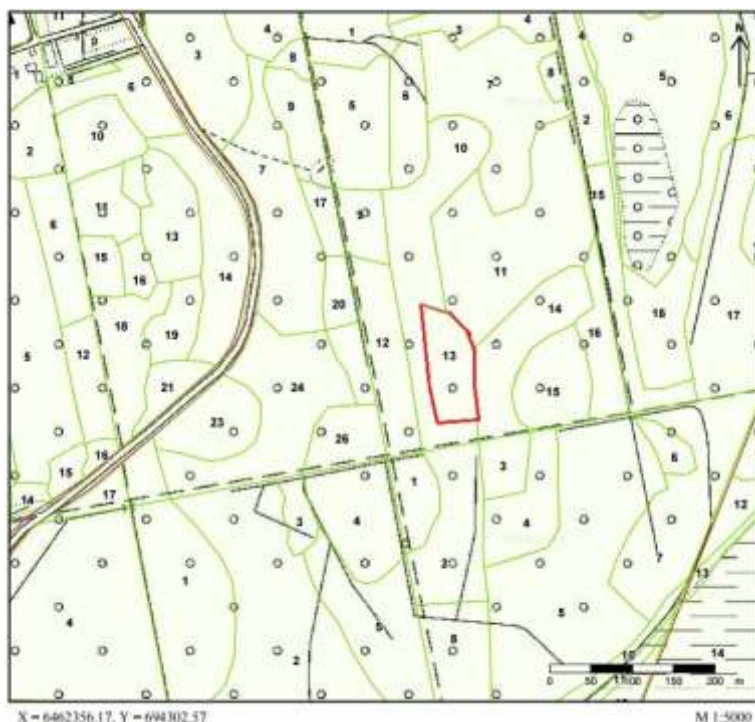
Eestis sai dendrokronoloogia alguse 1970. aasta esimesel poolel, kui hakati ajalooliste ehitiste puidu aastarõngaid mõõtma ning dateerima (Läänelaid 1997). Tänapäevaks on Alar Läänelaid (1976, 1997, 1999, 2003) dendrokronoloogia abil uurinud ehitiste puidu ajalugu, kuid on ka teinud uurimistöid kaevandusaladel. Metsateadlane Erich Lõhmus, kes on välja töötanud Eesti kasvukohatüüpide klassifikatsiooni, on koostanud ka Eesti männikute dendrokronoloogilise üldskaala (Lõhmus 1992) ja on uurinud radiaalkasvu ning kliimategurite seost. Henn Pärn (2002, 2004, 2008) on uurinud männipuude radiaalset juurdekasvu karjäärialadel ning analüüsinud hariliku männi puistute radiaalkasvu ja kliimategurite vahelist seost ajalises varieeruvuses. Maris Hordo (2011) on uurinud dendroklimatoloogiliste meetodite kasutamist puistu kasvukäigu modelleerimisel. Kliima mõju männipuude radiaalkasvule Järvelja harvendusraie katsealal uuris oma bakalaureusetöös Heiki Valdaru (2012).

Bakalaureusetöö eesmärk on uurida harvendusraiete mõju männipuude radiaalsele juurdekasvule. Töös on kasutatud Järvelja Õppe- ja Katsemetskonda rajatud harvendusraie katsealalt (JS275) 2011. aastal kogutud puursüdamike andmeid. Töö tulemustes peaks välja tulema, kuidas raied on mõjutanud puude kasvu ning kas kasutatud uurimismeetodid on piisavad. Saadud tulemusi on võimalik kasutada ka teistes samalaadsetes uurimistöödes.

1. MATERJAL JA METOODIKA

1.1 Materjal

Bakalaureusetöö andmed on kogutud Järvelja kvartalilt 275 eraldiselt 13 (Joonis 1) Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekti raames „Puistus toimunud häiringute tuvastamine dendrokronoloogiliste meetoditega“. Eraldise pindala on 0,7 ha, keskmine vanus on 73 aastat ja kõrgus 25 meetrit ning kasvukohatüübiks on mustika (Metsaregister 2017). Alal on kolm proovitükki: esimesel tehti tugeva harvendusastega raie, teisel mõõdukas ning kolmas proovitükk on kontrollala, kus raieid läbi ei viidud (Tullus, Reisner 1998; Valdaru 2012). Neid männipuude puursüdame määramiseks kasutas oma bakalaureusetöös kliimaanalüüsiks Heiki Valdaru (2012). Katseala tehti 1963. aastal 20 aasta vanusesse männinoorendikku, mis rajati 1943. aastal lapikülviga männipuistu raiealale. Mullaks on tugevalt leetunud leedemuld, kohati turvastunud A₀ -horisondiga (Tullus, Reisner 1998).



Joonis 1. Järvelja kvartal 275 eraldis 13 asukoht punase piirjoonega (Metsaregister 2017)

Valdaru (2012) järgi on teada, et esimesel proovitükil tehti tugeva harvendusastmega harvendus, kus alal teostati kokku viis raiet: 1963., 1974., 1981., 2000. ja 2008 aastal. Väljaraie protsent kõigi raiete peale kokku oli 94,4% ja raiemaht oli 208 tihumeetrit hektari kohta. Teisel proovitükil nähti ette mõõdukas harvendusaste. Raieid viid läbi neli: 1963., 1974., 1981. ja 1993. aastal. Väljaraie mahuks tuli 162 tihumeetrit hektari kohta ning kokku raiuti 72,7% metsa. Kolmandal proovitükil raieid läbi ei viidud, tegemist on kontrollalaga. Koristamata jäeti ka surnud puud (Valdaru 2012). Puistu peamised takseer- ning raieandmed aastati on välja toodud tabelis (Lisa I).

1.2 Väli- ja labortööd

Välitööd viidi läbi 25. novembril 2011. aastal harvendusraie katsealal. Kolmele proovialale rajati transektid, suurusega 50 m x 6 m. Mõõdeti puude rinnasdiameeter ning 10% puudelt võeti Vertex'iga kõrgusmõõt. Haglöf'i juurdekasvupuuriga võeti kõigilt elusatelt puudelt proovid. Esimeselt proovitükilt koguti proovid 33 puult, teiselt 39 puult ning kolmandalt proovitükilt võeti 43 puult (Valdaru 2012; Hordo 2012).

Saadud proovid mõõdeti metsakorralduse osakonna laboris Lintab süsteemiga, mis on ühendatud Tsap-winTM programmiga. Kõikidel puursüdamikel mõõdeti eraldi vara- ja hilispuidu osa. Saadud andmed ristdateeriti visuaalselt Tsap-winTM programmiga ja statistiliselt programmiga Cofecha. Ristdateerimine on üks olulisemaid protseduure dendrokronoloogiliste uurimiste juures, see annab võimaluse aastarõngastesse talletunud informatsiooni kasutada edaspidistes analüüsides. Protseduuri, kus omavahel pannakse kõrvuti mitme puu aastarõngaste read, nimetatakse ristdateerimiseks, selle tulemusel saab kindaks, teha millisel kalendriaastal on kasvuringid moodustunud (Läänelaid 1976b). Programmiga Cofecha saab ristdateerimise kvaliteeti ja aastarõngaste mõõtmistäpsust kontrollida (Hordo 2012). Cofecha väljastab andmetöötluse käigus järgmised statistikud: seeriade vaheline korrelatsioon, autokorrelatsioon ning keskmine tundlikkus.

1.3 Andmete analüüs

Programmiga Cofecha (User Guide... 2012) leiti mõningad proovialade statistikud, millega saab andmede vahelist sobivust analüüsida. Leiti seeriade vaheline korrelatsioon, autokorrelatsioon ning keskmine tundlikkus. Keskmine tundlikkus näitab aastarõngaste keskmist muutust protsentuaalselt. Cofecha kasutusjuhendi alusel peaks see näitaja jääma vahemikku 0,150 kuni 0,650. Aastarõngaste omavahelist korrelatsiooni ja koostatud kronoloogiate usaldusväärsuse näitab ära IR ehk *series intercorrelation*. Madalaim väärtus, millega loetakse uurimistöö seeriad usaldusväärseteks on 0,400, üldjuhul jäävad väärtused vahemikku 0,550 kuni 0,750 (User Guide... 2012). AC ehk autokorrelatsioon näitab eelneva aasta mõjutusi puu kasvule. Cofecha kasutusjuhendi järgi jääb seeriade vaheline autokorrelatsioon vahemikku 0,300 kuni 0,800. Töös arvutati puursüdamike andmeil puistu keskmine juurdekasv ning tagavara juurdekasv ning tulemused kujutati graafiliselt Exceli vahenditega. Puistu tagavara juurdekasv arvutati vastavalt metsa korraldamise juhendis antud valemite järgi (Metsaseadus 2006, § 11 lg 3,4).

Katseala puurproovide andmeid analüüsiti alade kaupa, vastavalt tugev ja mõõdukas raie ning kontrollala. Korrelatsioonikordajaga saab iseloomustada tunnuste vahelise seose tugevust (Kiviste 2007). Bakalaureusetöös koostati korrelatsioonianalüüsid aastarõngaste keskmiste laiuste vahel ning juurdekasvuindeksite vahel.

Häiringute ehk raiete mõju puude kasvule võib kajastuda alles hilisematel aastatel, seetõttu tuleks vaadata puu kasvu enne ja pärast raiet mitme aasta vältel. Käesolevas töös vaadati aastarõngaste laiuste muutusi 5 aastat enne ja pärast raiet. Tulemused on toodud karpdiagrammidena, mis koostati R programmis (R Core Team 2011) *boxplot* funktsiooniga.

Iga katseala kohta mõõdeti mändide keskmised aastarõngaste laiused (uuritav periood 1941 kuni 2011) ja standardiseerimisel koostati juurdekasvuindeksite read ehk kronoloogiad, selleks kasutati *spline* funktsiooni R'i programmis, paketti *dplR* (Bunn *et al.* 2017). Standardiseerimise käigus eemaldatakse aastarõngaste laiuste kronoloogiast pikaajalised muutused (puu vanusest ning suurusest tingitud muutused) ja tulemuseks on mõõtühikuteta juurdekasvuindeksid (Läänelaid 1976a).

Puude andmeid analüüsiti Exceli ja R vahenditega graafiliselt ning kasutati suhtelise häiringu meetodit (*relative growth change*) (Nowacki, Abrams 1997) raie mõju uurimiseks, et leida kasvumuutused aastarõngaste mustris ning nende kestuse. Kasvu vabanemine on

aastarõngaste mustris näha laiemate aastarõngaste näol, tekib see peale häiringut, kui puu kasv hakkab taastuma ja kasv vabaneb (Schweingruber 1996). Nowack ja Abrams (1997) artikli andmetel arvutati suhteline juurdekasvumuutus (%GC) valemiga:

$$\%GC = [(M2 - M1)/M1] \times 100$$

kus, M1 – keskmine juurdekasv raiet hõlmaval eelneval ajavahemikul ja M2 – keskmine juurdekasv raiele järgneval ajavahemikul. Meetodi autorid soovivad kasutada 10 aastast perioodi M1 ja M2 puhul. Meie katsetame eri pikkustega ajavahemikke (näiteks 4, 5, 6 aastat) ja arvutame sündmusaasta igas positsioonis (kalendriaastal) suhtelise juurdekasvumuutuse.

Selleks, et välja tuua vaid märkimisväärseid muutusi puude radiaalkasvus pärast raieid, kasutati R paketi *dplR* (Bunn *et al.* 2017) kattuvate järkude analüüsi meetodit (*superposed epoch analysis*). Antud meetod analüüsib võtmesündmuste mõjutusi (Lough *et al.* 1978) puude keskmisele kasvule bootstrap meetodil (Bunn *et al.* 2017), kus korduvate tagasipanekuga valimite abil saadakse parameetrite hinnangud (Remm *et al.* 2012). Käesolevas töös on võtmesündmuseks ehk sündmusaastaks raieaasta ning analüüsime, kuidas see kajastub juurdekasvuindeksi seerias, vaadeldavaks perioodiks võeti vastavalt 5 aastat enne raiet ning 5 aastat pärast raiet. Tulemused esitame graafikutel.

2. TULEMUSED

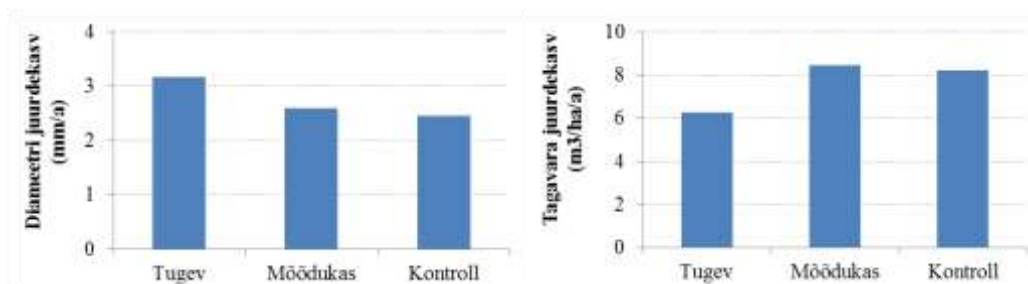
2.1. Radiaalkasvu analüüs

Bakalaureusetöös kasutatakse Järvelja kvartalilt 275 kogutud andmeid. Tegemist on harvendusraie katsealaga, kus viidi läbi erineva intensiivsusega raied. Esimene prooviala on tugeva harvendusega, teisel alal viidi läbi mõõdukas harvendus ning kolmas ala jäeti kontrollalaks, seal raieid läbi ei viidud. Katseala põhilised statistikud on välja toodud tabelis 1.

Tabel 1. Proovialade statistikud. D – takseerkeskmine diameeter cm, H – keskmine kõrgus m, AR – keskmine aastarõnga laius 1/100mm, MS – keskmine tundlikkus (*mean sensitivity*) %, IR – seeriade vaheline korrelatsioon (*series intercorrelation*), AC – autokorrelatsioon (*autocorrelation*)

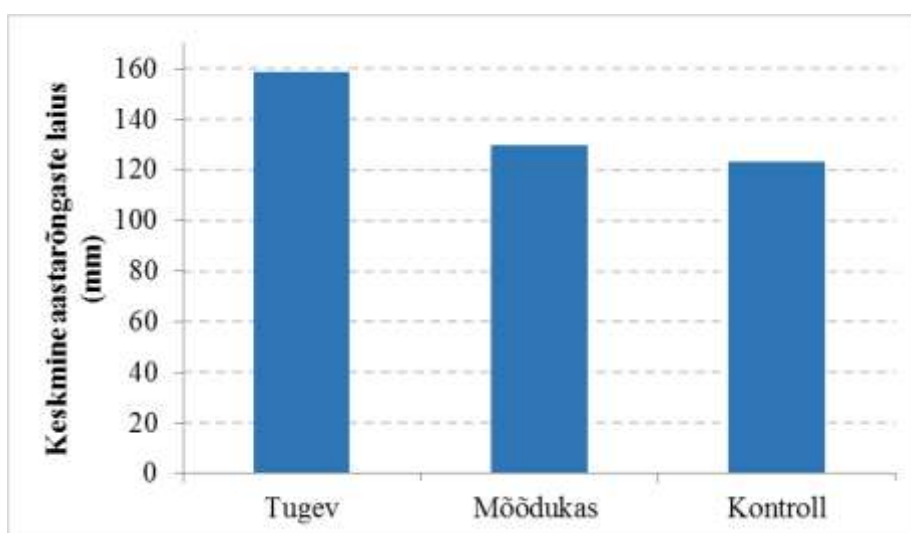
Prooviala	Puude arv	D cm	H m	AR 1/100mm	MS %	IR	AC(1)
Tugev	33	25,3	26,2	158,5	0,174	0,524	0,890
Mõõdukas	39	21,0	24,4	129,7	0,188	0,542	0,925
Kontroll	43	19,0	26,5	123,1	0,182	0,458	0,943

Antud prooviala puude aastarõngaste seeriade keskmised tundlikkused on vahemikus 0,174 kuni 0,182, millest võib järeldada, et kõigil kolmel alal on puude kasv läbi eluea olnud ühtlane. Kuna kõige madalam IR väärtus, mida loetakse usaldusväärseks on 0,400, siis tabelis 1 välja toodud seeriade vahelist korrelatsiooni saab pidada usaldusväärseks. Antud bakalaureusetöös on tegu puude aastarõngaste mõõtmisandmetega, mis tähendab seda, et autokorrelatsioonid on tavalisest kõrgemad. Suurima häiritusega on katseala 1, kus viidi läbi tugeva astmega harvendusraie ning seetõttu on ka autokorrelatsioon kõige madalam ja suurim on kontrollalal, kuna seal raieid läbi ei viidud.



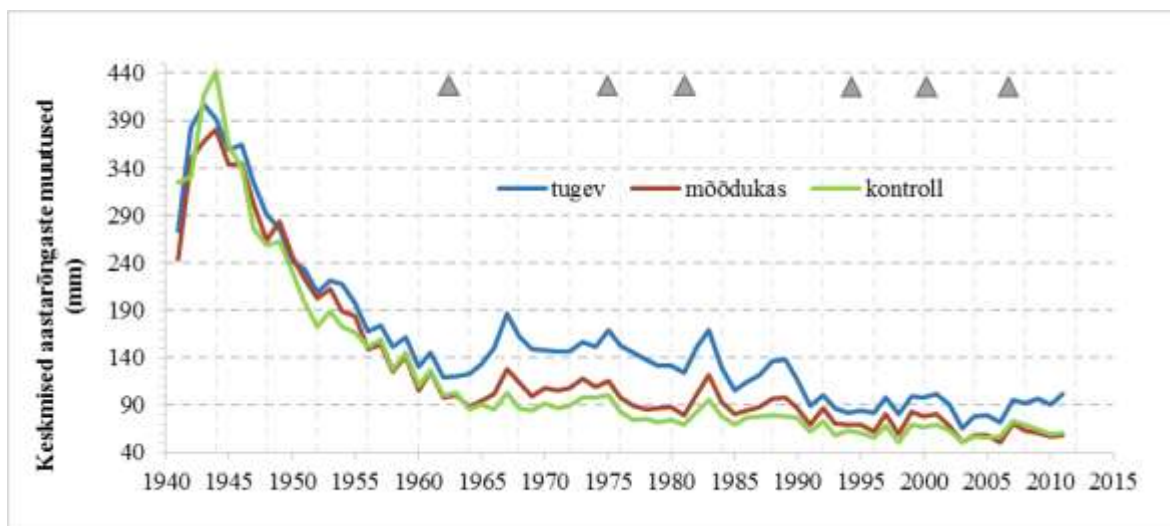
Joonis 2. Diameetri ja tagavara juurdekasvud katsealade kaupa

Joonisel 2 on näha katsealade diameetri ja tagavara juurdekasvu. Diameetri juurdekasv on suurem raiutud aladel, kõige suurem tugeva raiega alal (alal kus oli kõige vähem puid). Tagavara juurdekasv aastast on aga suurim mõõdukalt raiutud alal ning mitte oluliselt väiksem on see kontrollalal, antud aladel oli ka puid rohkem.



Joonis 3. Keskmised mändide aastarõngaste laiused Järvelja kvartalil 275

Keskised aastarõngaste laiused on suurimad tugevalt raiutud alal, mida on näha ka ülaltoodud joonisel (Joonis 3). Mõõdukalt raiutud alal ning tugevalt raiutud alal on näitajate vahe suurem kui seda on mõõduka ning kontrollala vahel, nende kahe ala erinevus on üsna väike.



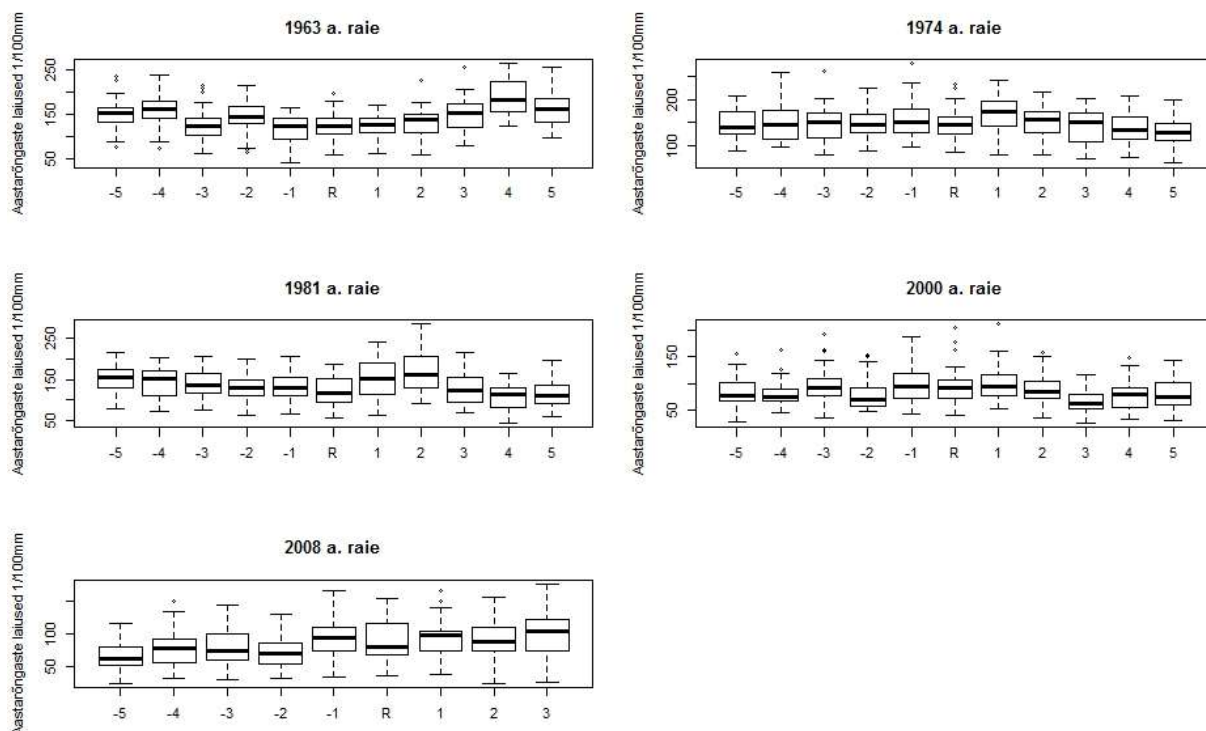
Joonis 4. Mändide aastarõngaste keskmised muutused (kolmnurgad tähistavad raieaastaid)

Varasematel aastatel olid aastarõngaste laiuste muutused suuremad, kuna katsealal kasvasid noored männid, mis kasvavadki rohkem just esimestel aastakümnetel. Mida vanemaks puistu saab, seda stabiilsemaks jäävad ka kasvust tingitud muutused. Joonisel 4 on näha, et kõige tugevama harvendusega katsealal on aastarõngaste muutused kõige suuremad, mille järel tuleb mõõdukas harvendusraie ning kõige vähem muutusi on kontrollalal.

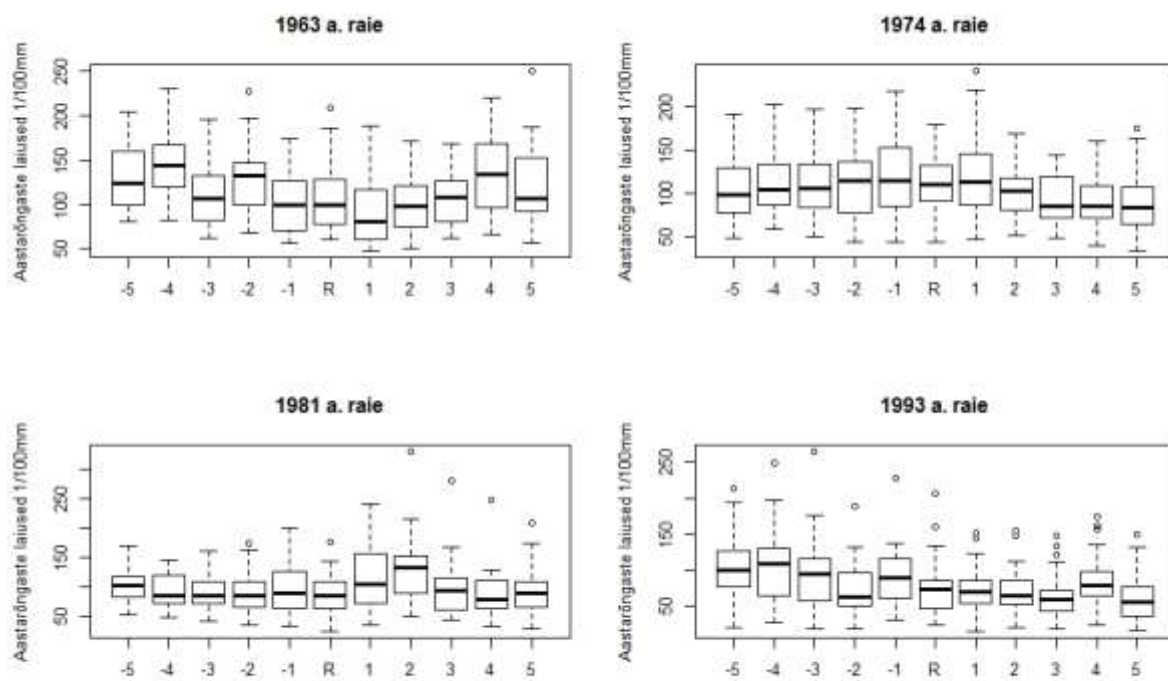
Tabel 2. JS275 proovialade aastarõngaste laiuste vahelised korrelatsioonikordajad

	Tugev	Mõõdukas	Kontroll
Tugev			
Mõõdukas	0,995		
Kontroll	0,976	0,982	

Tabelis 2 on välja toodud korrelatsioonikordajad, mis jäävad 0,976 kuni 0,995 vahemikku. Aladel kus teostati raied on korrelatsioonikordaja 0,995, mis tähendab seda, et nende vahel on tugev lineaarne seos.

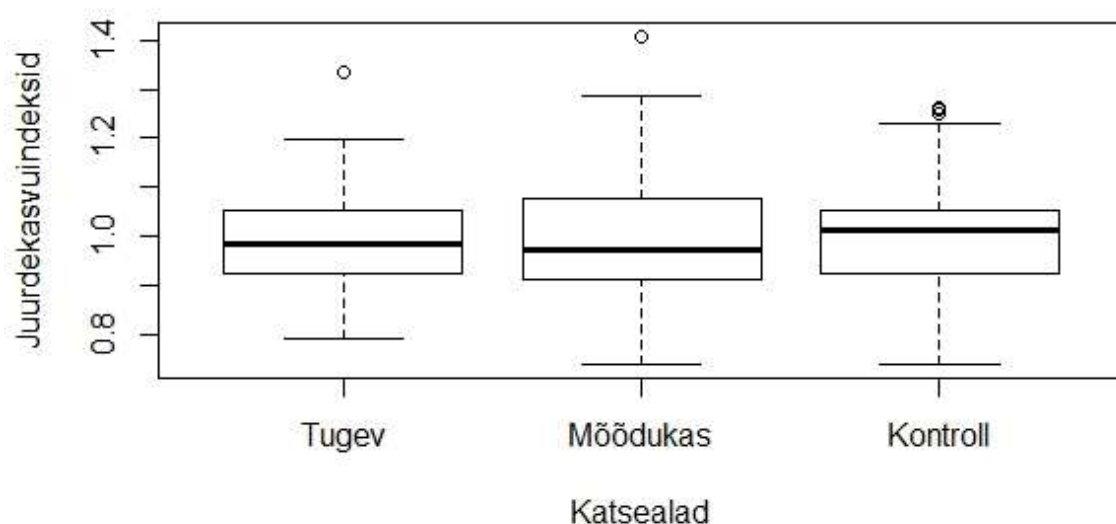


Joonis 5. Tugevalt raiutud ala keskmised aastarõngaste laiused viis aastat enne (-5...-1) ja viis aastat pärast (1...5) raieaastat (R) (ruut näitab 25% ja 75/ kvantiile, ruudus asuv joon näitab mediaani ning üksikud ringid on erandid ehk ekstreemsed väärtused, mis ei ole arvestatud keskmisesse)



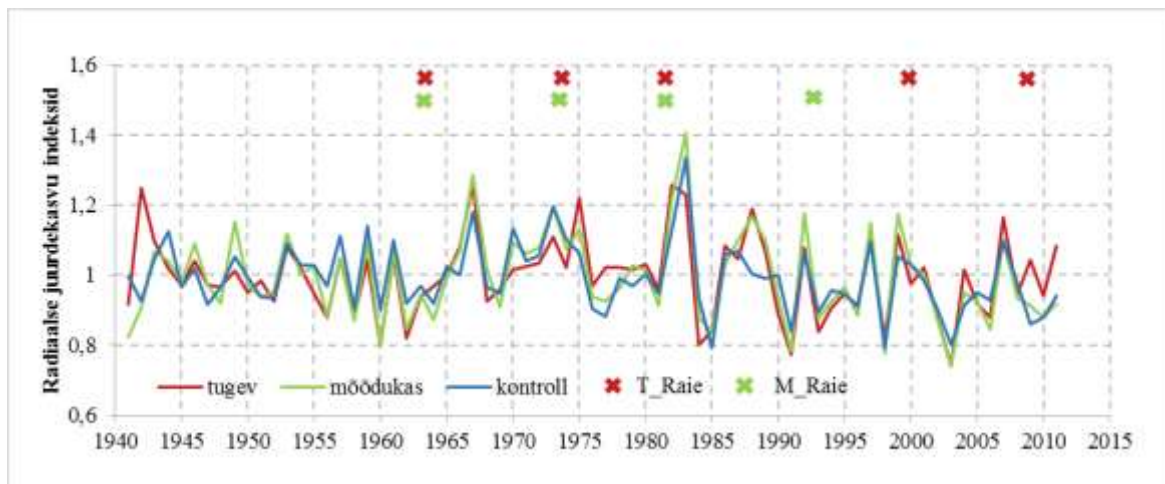
Joonis 6. Mõõdukalt raiutud ala keskmised aastarõngaste laiused viis aastat enne (-5...-1) ja viis aastat pärast (1...5) raieaastat (R)

Joonistel 5 ja 6 on kujutatud tugevalt ning mõõdukalt raiutud alade diameetrite kasvud enne raiet viiel aastal ning pärast raiet viiel aastal. Tugeval alal teostatud raiete puhul on näha, kuidas pärast raiet 2 kuni 4 aasta jooksul aastarõngaste laiused suurenevad ning seejärel hakkab kasv ühtlustuma, sellist trendi võib täheldada ka mõõdukalt raiutud alal. Võib täheldada, et varasematel aastatel teostatud raiete puhul on kasvumuutuseid paremini näha, kui hilisematel aastatel. Mõõdukalt raiutud alal suureneb erindite ehk ekstreemsete aastarõngaste laiuste arv, seda just 1981. ja 1993. aastal läbi viidud raiete järgselt, samal ajal kui tugevalt raiutud alal neid peaaegu polegi. Peale 2008. aastal tehtud raiet (Joonis 5) on näha, kuidas aastarõngaste laiuste muutused hakkavad suurenema. Kuna meie vaatlusperiood on kuni aastani 2011, siis edasist kasvutrendi selle joonise puhul näha ei ole.



Joonis 7. Keskmised radiaalse juurdekasvuindeksid Järvelja kvartalil 275 eraldisel 13

Joonisel 7 on välja toodud katsealade keskmised juurdekasvuindeksid ning erindid. Juurdekasvuindeksid saadakse standardiseerimise käigus, kus kõrvaldatakse puu vanusest ning suurusest tulenevad mõjutused (Hordo 2012). Ülaltoodud joonisel 7 on näha, et juurdekasvuindeksid on suurimad mõõdukalt raiutud alal, mille järel tuleb kontrollala ja kõige väiksemad on tugevalt raiutud alal.



Joonis 8. Katsealade juurdekasvuindeksite kronoloogia

Joonisel 8 on näha, et kõige stabiilsem juurdekasv on olnud kontrollalal, sest seal ei esinenud häiringuid raiete näol. Tugevalt raiutud alal ja mõõdukalt raiutud alal on juurdekasv rohkem kõikunud ning on näha, et peale raieid on juurdekasv hüppeliselt tõusnud ja peale seda ka oluliselt langenud (peale maksimumi saavutamist), vähemal määral on sellised kõikumised ka kontrollalal.

Tabel 3. JS275 proovialade juurdekasvuindeksite vahelised korrelatsioonikordajad

	Tugev	Mõõdukas	Kontroll
Tugev			
Mõõdukas	0,828		
Kontroll	0,702	0,887	

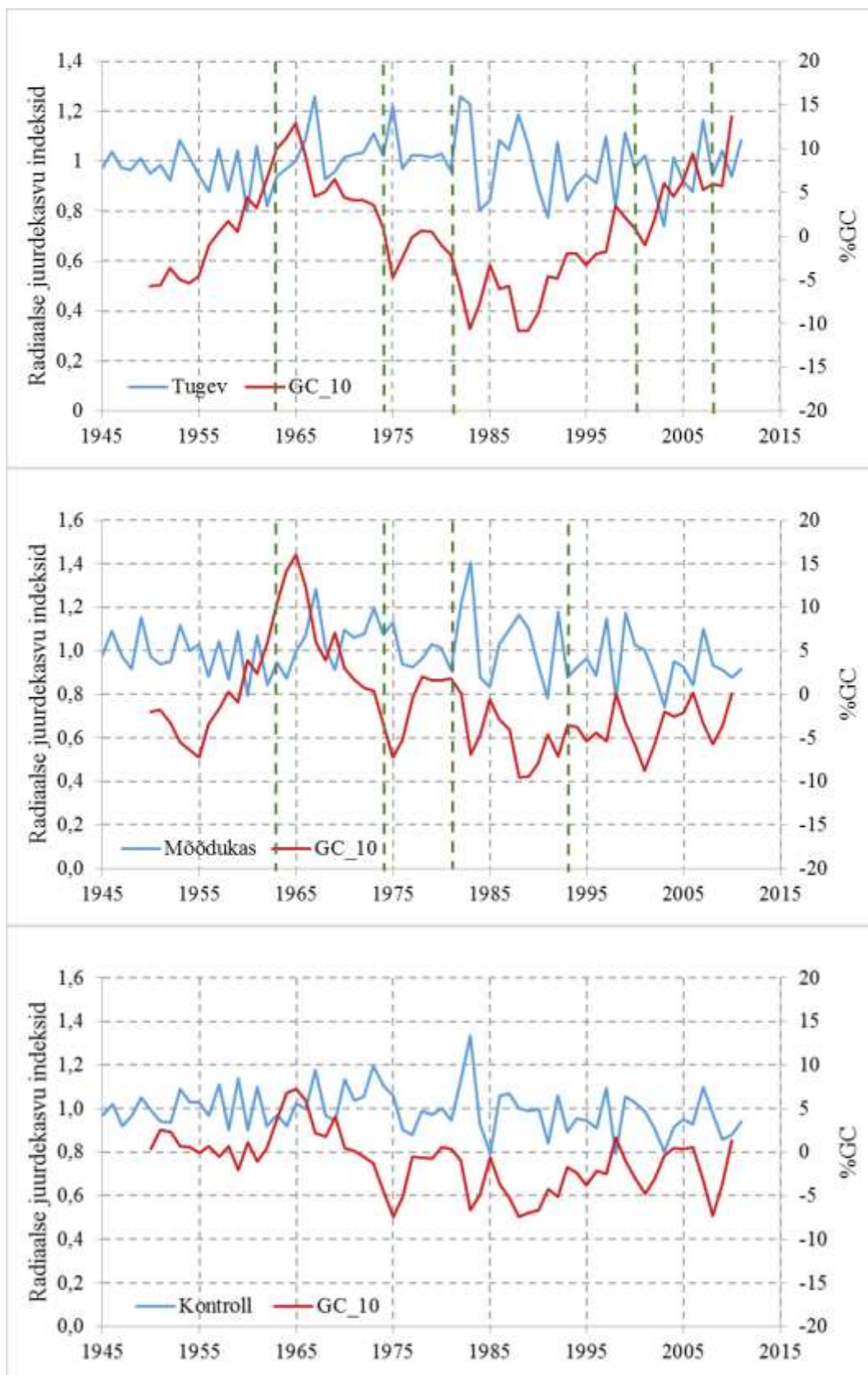
Korrelatsioonikoeffitsiendid juurdekasvuindeksite seeriade vahel on kõigil positiivsed (Tabel 3). Kõige suurem positiivne seos (0,887) on mõõduka ning kontrollala vahel ning kõige väiksem on see tugevalt raiutud ning kontrollala vahel.

2.2. Raie mõju hindamine radiaalkasvule suhtelise häiringu ja kattuvate ajajärkude analüüsi meetodil

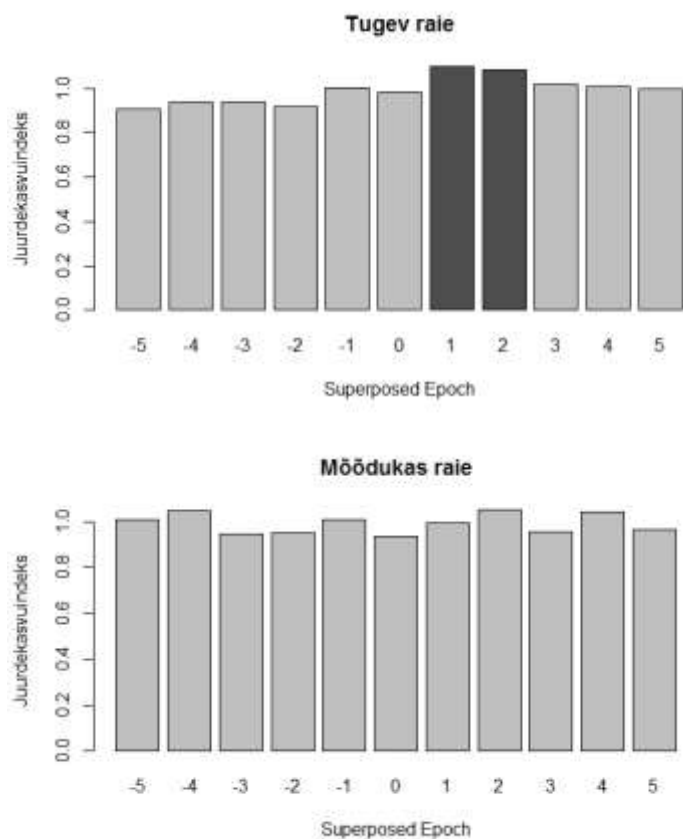
Kõigi kolme prooviala kohta leiti igal alal libiseva keskmise meetodil suhtelised juurdekasvumuutused 4-, 5-, 6-, 7- ja 10-aastaste perioodide vältel. Tundlikkuse analüüsi meetodiga on võimalik prognoosida raiete mõju puude aastaõngaste iga-aastasele juurdekasvule (Hordo 2012). Arvutuskäigust on täpsemalt räägitud andmete analüüsi osas. Tulemused esitati graafikutel, töösse lisasime 10 aastaste perioodide keskmised, sest nendes kajastusid muutused kõige enam.

4- ja 5-aastaste perioodide kasvutrendid olid kõigil kolmel alal üsna sarnased, enim eristus kontrollala. Pikemate perioodide vaatlemisel sarnanevad rohkem mõõduka raiega ala ning kontrollala kasvutrendid. 10-aastaste perioodide analüüsimise tulemusena (Joonis 9) on näha, et pärast esimest harvendusraiet on kasvumuutuste protsendid suurimad ning edaspidised raied enam nii suurt mõju ei ole avaldanud.

Mõõduka raiega alal ning kontrollalal on näha suhtelise juurdekasvumuutuse langust 1975. aastal ning järsku tõusu 1983. aasta paiku, kusjuures aastatel 1974 ning 1981 viidi läbi harvendusraied tugeval ning mõõdukal alal. Mõõduka ning kontrollala kasvutrendid on kõikidel vaadeldud perioodidel üsna sarnased, kuigi kontrollalal raieid läbi ei viidud. Tugeva harvenduse saanud ala on enim eristatav kõikide vaadeldud ajavahemike puhul.



Joonis 9. Suhtelised juurdekasvumuutused 10-aastaste perioodide vältel (tugeva ning mõõduka raiega alade raied märgitud roheliste punktiirjoonega, %GC – suhteline juurdekasvumuutus protsentides)



Joonis 10. Kattuvate järkude analüüs (*superposed epoch analysis*) tugevalt ja mõõdukalt raiutud katsealal

Joonisel 10 on kujutatud juurdekasvuindeksi kronoloogiate kasvumuutused ning tumedamalt joonistatud tulp viitab positiivsetele mõjutustele. Jooniselt saame välja lugeda, et tugeva raiega alal pärast raieid järgneval ja ülejärgmisel (vastavalt 1 ja 2) aastal on täheldatud suuremaid positiivseid muutusi juurdekasvuindeksite seerias. Samas antud meetodiga mõõdukal alal muutusi ei ilmne.

ARUTELU

Bakalaureusetöös uuriti harvendusraiete mõju männipuude radiaalkasvule. Raied on tänapäeva väga aktuaalne teema ning on olulisel kohal metsamajanduses, seetõttu on tähtis osata hinnata nende mõju metsade tootlikkusele. Harvendusraiete põhiline eesmärk on metsade tootlikkuse tõstmine.

Andmete analüüsimise tulemusel saame öelda, et harvendusraied mõjutasid puude radiaalkasve üldjuhul positiivselt. Keskmine aastarõnga laius on suurim tugevalt raiutud alal, sellele järgneb mõõdukalt raiutud ala ning väikseim aastarõngaste laius on kontrollalal. Samamoodi on ka diameetri juurdekasvudega. Tagavara juurdekasv on suurim kontrollalal, sest seal on puid arvuliselt rohkem. Suur tagavara ei tähenda alati tootlikumat metsa, kuna see võib tuleneda väikeste puude rohkusest, mille turuhind madalam ning väljaraie kallim (Mäkinen *et al.* 2004).

Suhtelise häiringu meetodil tuli välja kasvutrend, kus on näha, et peale raiet paari aasta jooksul juurdekasvuindeksid suurenevad ning mõne aja möödudes kasv ühtlustub. Nooremas puistus on suhtelise kasvumuutuse protsendid kõikuvamad ning raiete järgne kasvuvabanemine on märgatavam. Soomes läbi viidud uuringus selgus, et väiksematel ehk siis ka noorematel puudel kajastuvad raietest tingitud kasvumuutused üsna peale raiet ning suurtel puudel aga vastupidi, läheb paar aastat aega kuni raiejärgne maksimum saavutatakse (Pukkala *et al.* 2002). Väiksemad puud on üleüldse vastuvõtlikumad keskkonnast tulenevatele muutustele. See võib olla ka üks võimalikest põhjustest, miks antud uurimistöö tulemustes varasematel aastatel juurdekasvumuutused suuremad olid.

Mõõdukalt raiutud ala suhteline juurdekasvumuutus jääb peale viimast raiet (1993) negatiivseks, samal ajal kui tugevalt raiutud alal tehti raieid edasi (aastatel 2000 ja 2008) ning kasvumuutus on positiivne ja pidevalt tõusva trendiga, ka juurdekasvuindeksid suurenevad. Antud muutused näitavad, et harvendusraietel on positiivne mõju puude kasvule.

Kanadas läbi viidud uuringust selgus, et harvendusraied suurendavad oluliselt pigimändide (*Pinus taeda*) radiaalkasvu. Samuti leiti, et puu juurdekasv algab tüve alumisest osast ning seejärel liigub edasi ülespoole (Tasissa *et al.* 1997). Harri Mäkinen on leidnud, et puistus läbi viidud harvendusraied siiski mõjuvad puu kasvule positiivselt ja kui võrrelda raie intensiivsusi, siis kõige rohkem suurendab puu radiaalkasvu tugev harvendusraie (Mäkinen *et al.* 2004). Sama saab väita ka käesoleva bakalaureusetöö tulemusi analüüsides.

Kõrvutades koostatud alade kronoloogiaid omavahel, selgub, et uuritavate katsealade juurdekasvumuutustes on sarnasusi, ka sellel alal kus raieid läbi ei viidud. Näiteks on kõigil kolmel alal juurdekasvumuutuse tõus 1965. aastal ning langus 1975. aastal, kuna ühel alal raieid läbi ei viidud, siis ei saa see ka olla raiest tingitud mõjutus. Limiteerivaks teguriks võib olla puudevaheline konkurents.

See, kuidas puu radiaalkasv vastu võtab raietest tulenevad muutused, oleneb suuresti mullaviljakusest, sademetest, temperatuurist ning muudest keskkonnatingimustest. Põhjalikemate järelduste tegemiseks peaks raieid analüüsima paralleelselt muude teguritega.

KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö eesmärgiks oli analüüsida harvendusraiete mõju männipuude radiaalsele juurdekasvule. Kasutatavad puursüdamike andmed koguti Järveljal asuval harvendusraie katsealalt kvartalil 275 eraldi 13. Proovid koguti Keskkonnainvesteeringute Keskuse projekti raames aastal 2011. Katseala jagub kolmeks: tugevalt raiutud ala, mõõdukalt raiutud ala ning kontrollala, kus raieid läbi ei viidud.

Andmeanalüüsiks kasutasime Excel ja R vahendeid. Kogutud puursüdamike andmeid standardiseeriti R programmis *spline* funktsiooni kasutades, paketti *dplR*, mille tulemusel saadi juurdekasvuindeksite seeriad. Puurproovide andmeid analüüsiti alade kaupa.

Valemite alusel arvutati katsealade diameetri ning tagavara juurdekasvud. Diameetri juurdekasv oli suurim tugevalt raiutud alal, kuid tagavara juurdekasv suurim kontrollalal, mille põhjuseks on suurem puude arv. Katsealade vaheliste aastarõngaste laiuse ning juurdekasvuindeksite analüüsimiseks leiti korrelatsioonikordajad ja koostati kronoloogiad, mille tulemused esitati joonistel. Aastarõngaste laiuseid raie-eelsel ning raiejärgsel ajal kujutati karpdiagrammidel, mille koostamiseks kasutati R funktsiooni *boxplot*.

Suhtelise juurdekasvumuutuste ning nende kestvuse leidmiseks kasutati suhtelise häiringu meetodit (*Relative Growth Change – GC*). Katsetati eri pikkustega ajavahemikke (4, 5, 6, 7 ning 10 aastat). Töösse pandi kasvumuutused 10 aastaste perioodide vältel, kuna antud ajavahemik tõi kasvumuutused kõige paremini välja. Kõige suurema kasvumuutusega on tugeva raiega ala, mille järel tuleb mõõdukalt raiutud ala ning kõige ühtlasem on see kontrollalal. Täheledata suuremaid kasvumuutuste protsente varasematel aastatel ning leiti sarnasusi kasvutrendides, mis viitavad mingile muule mõjutajale.

Kattuvate järkude analüüsi meetodil (*Superposed Epoch Analysis - SEA*) vaadeldi kuidas raied kajastuvad juurdekasvuindeksite seerias 5 aastat enne raiet ning 5 aastat pärast raiet. Antud meetod analüüsib võtmesündmusi, seega saab seda rakendada aladel, kus viidi läbi raied. Nähtavaid tulemusi leiti ainult tugeva raiega alal, mõõdukalt alalt märkimisväärseid

muutusi ei leitud. Tugevalt raiutud alal pärast raiet esimese ja teise aasta jooksul on puude juurdekasv kõige positiivsem.

Raied on mõjutanud männipuude radiaalkasvu positiivselt. Aastarõngaste laiused ning puude diameetrid on suurimad tugevalt raiutud alal ning kontrollalal on vastavad näitajad kõige väiksemad. Leitud sarnasused kasvutrendides viitavad muudele mõjutajatele. Käesoleva töö tulemusi on võimalik kasutada võrdlusmaterjalina ka edaspidistes samalaadsetes uurimistöodes.

SUMMARY

The aim of given thesis is to analyse thinning effect on Scots pine radial growth. Analysed samples were collected from Järvelja experimental plot, located in Järvelja compartment 275. Given samples were collected during Environmental Investment Center's project in 2011. Experimental plot was divided into three areas, on first area there was heavy thinning, on second moderate thinning and the third area was unthinned control area.

For data analysis we used Excel and R tools. Collected data was standardized using R programs spline function, package dpIR, which gives us increment index series. Data was analysed by area.

Diameter increment and reserve increment were calculated using functions. In results we see that diameter increment was the biggest on heavily thinned area and reserve increment was the biggest on control area, which was caused by higher number of trees. To analyse the ring width and increment indexes we found correlation coefficients and made chronologies, results are shown on charts. To see and compare ring width before and after cutting we used function boxplot on R.

Relative growth change method was used to find relative increment growth change and their continuance. Different time periods were experimented (4, 5, 6, 7 and 10 years). On present thesis we showed 10-year periods, because growth changes on those periods were most visible. The biggest growth change has the heavily thinned area, after that moderately thinned area and the most even was control area's growth change. When finding relative growth change, we saw that in earlier years growth change was bigger and this goes for all of the areas. Also there were similarities in growth trends, despite the fact that one of them was unthinned. This indicates, that there are other factors involved, besides thinning.

With superposed epoch analysis we examined how thinning reflects in increment index series 5-years before and 5-years after thinning. In given method certain events are analysed, which means that, it can be used on areas where thinning was made. Only on heavily thinned

area showed visible results, no remarkable changes were found on moderately thinned area. On heavily thinned area first and second year after thinning the growth is most positive.

Thesis results show us that thinning had positive impact on scots pine radial growth. Ring width and tree diameters are the biggest in heavily thinned area and the smallest on unthinned area. The results of this thesis can be used in further research.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Bunn, A., Korpela, M., Biondi, F., Campelo, F., Mérian, P., Qeadan, F., Zang, C., Buras, A., Cecile, J., Mudelsee, M., Schulz, M.** (2017). Package 'dplR'. Dendrochronology Program Library in R. [<https://cran.r-project.org/web/packages/dplR/dplR.pdf>] (26.04.2017)
- Dimitrov, D., Zlatanov, T., Raev, I., Stoyanova, N., Miteva, S.** (2011). Scots pine (*Pinus Sylvestris* L.) response to climate changes and thinning activities: A tree-ring study from South-East Rila mountain, Bulgaria. *Silvia Balcanica*: 12(1).
- Eesti metsanduse arengukava aastani 2020. (2010). Tallinn: Keskkonnaministeerium. https://www.envir.ee/sites/default/files/elfinder/article_files/mak2020vastuvoetud.pdf
- Gartner, B.L., Aloni, R., Funada, R., Lichtfuss-Gautier, A.N., Roig, F.A.** (2002). Clues for dendrochronology from studies of wood structure and function. *Dendrochronologia*: 20(1-2), 53-61.
- Hordo, M.** (2011). Dendroklimatoloogiliste meetodite kasutamine puistu kasvukäigu modelleerimisel. Väitekirj filosoofiadoktori kraadi taotlemiseks metsanduse erialal. Tartu, 175 lk.
- Hordo, M.** (2012). Puistud toimunud häiringute tuvastamine dendrokronoloogiliste 3meetoditega (KIK metsanduse programmi 2011.a. projekt nr 469). - <https://www.kik.ee/sites/default/files/469.pdf>
- Hynynen, J.** (1995). Predicting the Growth Response to Thinning for Scots Pine Stands Using Individual- Tree Growth Models. *Silvia Fennica* 29(3): 255-246.
- Kiviste, A.** (2007). Matemaatiline statistika MS Exeli keskkonnas, lk 64.
- Laurent, M., Antoine, N., Jöel, G.** (2003). Effects of thinning intensities on drought response in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Forest Ecology and Managament*: 183, 47-60.
- Lough, J. M., Fritts, H. C.** (1987). An assessment of the possible effects of volcanic eruptions on North American climate using tree-ring data, 1602 to 1900 AD. *Climatic Change* 10(3): 219-239.
- Lõhmus, E.** (1992). Eesti männikute dendrokronoloogiline üldskaala. *Metsanduslikud uurimused* XXIV, lk. 103-120.
- Läänelaid, A.** (1997). Dendrochronological dating of the Uppsala house in Tartu, Estonia. *Dendrochronologia* 15: 191-198.

- Läänelaid, A.** (1976a). Juhend dendroindikatsioonilisteks uuringuteks. Abiks loodusevaatlejale nr 70. Eesti NSV Teaduste Akadeemia, 30 lk.
- Läänelaid, A.** (1976b). Juhend dendrokonoloogilisteks uuringuteks. ENSV Teaduste Akadeemia, Eesti Loodusuurijate Selts, lk 29.
- Läänelaid, A.** (1999). Loenguteemade konspekt. Dendrokronoloogia. - <http://www.botany.ut.ee/lectures/dendro.html>
- Läänelaid, A. and Eckstein, D.** (2003). Development of a Tree-ring Chronology of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for Estonia as a Dating Tool and Climatic Proxy. *Baltic Forestry* 9(2): 76-82.
- Merenäkk, M., Adermann, V., Raudsaar, M.** (2016). Raied: Fellings.- Aastaraamat mets. 2014 : Yearbook Forest. 2014. Tallinn: Keskkonnaagentuur, lk 62-71.
- Metsaseadus (vastu võetud 07.06.2006, muudetud, täiendatud, viimati jõustunud 01.07.2015). - *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/123032015210> (10.05.2017).
- Mäkinen, H., Isomäki, A.** (2004). Thinning intensity and long-term changes in increment and stem form of Scots pine trees. *Forest Ecology and Management*: 203, 21-34.
- Nowacki, G.J., Abrams, M.D.** (1997). Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecological Monographs*: 67(2), pp. 225-249.
- Pukkala T., Miina J., Palahí M.** (2002). Thinning response and thinning bias in a young Scots pine stand. *Silva Fennia*: 36 (4), 827-840.
- R Core Team.** (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>. (25.04.2017)
- Remm, K., Remm, J., Kaasik, A.** (2012). Ruumiliste loodusandmete statistiline analüüs. Õpik-käsiraamat. Tartu, 442 lk.
- Schweingruber, F.H.** (1996). Tree rings and environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt. 609 pp
- Speer, J. H.** (2010). Fundamentals of tree-ring research, lk 333.
- Spiecker, H.** (2002). Tree ring and forest management in Europe. *Dendrochronologia*: 20(1-2), 191-202.
- Tassissa, G., Burkhardt, H., E.** (1997). Modeling thinning effects on ring width distribution on loblolly pine (*Pinus taeda*). *Can. J. For. Res.* 27: 1291-1301.
- Tullus, H., Reisner, Ü.** (1998). Hooldusraiete püsikatsealad Järvelja õppe- ja katsemetsamajandis. Akadeemilise Metsaseltsi toimetised: 8, 74-90.
- Tullus, H.** (2002). The influence of intermediate cuttings on the growth of pine and spruce forests: silvicultural recommendations. *Forestry studies/Metsanduslikud uurimused XXXVI*, lk. 126-135.

User Guide to COFECHA output files. (2012). National Climatic Data Center.
<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering/cofecha/userguide.html>

Valdaru, H. (2012) Kliima mõju puude radiaalsele juurdekasvule Järvelja harvendusraie katsealal.
(Bakalaureusetöö). Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu

Worbes, M., Fichtler, E. (2011). Wood anatomy and tree-ring structure and their importance for tropical dendrochronology. Amazonian Floodplain Forest. Vol.210, pp.329-346.

LISAD

Lisa I. Takseerandmed

Tabel 1. Puistu takseerandmed katsealal, vastavalt proovitükk 1 tugev raie, proovitükk 2 mõõdukas raie, proovitükk 3 kontrollala (D – diameeter, H – kõrgus, G – rinnaspindala) (Tullus ja Reisner 1998, Valdaru 2012)

Aasta	Vanus	D	H	Puid	Maht	G	Tihedus	Surnud puitu	Raied	
		cm	m	ha	m ³ /ha	m ² /ha	%	m ³ /ha	m ³ /ha	%
Proovitükk 1										
1963	20	7,9	9,9	5580	154	27,2	101			
	20	9,1	10,6	2533	97	16,5	60		57	37
1974	31	13,8	14,7	1967	221	29,2	94			
	31	14,8	15,1	1413	186	24,2	77		35	15,8
1981	38	15,3	16,5	1293	198	23,8	73			
	38	16	17	987	168	19,8	61		30	15,2
1985	42	17,4	18,1	947	200	22,5	68	3		
1991	48	18,2	19,2	940	227	24,4	72			
1995	52	19,9	20,5	933	284	29	84	2		
2000	57	20,3	21,1	933	303	30,2	87	1		
	57	21,6	21,3	767	280	27	80		23	7,6
2008	65	21,7	24,1	767	335	29,4	84			
	65	22,7	24,4	573	272	23,5	68		63	18,8
Proovitükk 2										
1963	20	7,7	10,4	6860	185	31,6	115			
	20	8,4	10,9	3507	118	19,6	70		67	36,2
1974	31	11,3	13,6	3487	253	35	115			
	31	12,4	14,1	2513	223	30,2	98		30	11,9
1981	38	12,6	15,6	2513	248	31,2	98			
	38	13,4	15,9	1833	207	25,7	80		41	16,5
1985	42	14,6	17,2	1813	262	30,2	82			
1991	48	15,6	18,6	1660	293	31,7	94	6		
1993	50	15,6	18,8	1660	296	31,7	94	6		
	50	16,4	19,4	1347	272	28,6	84		24	8,1
1995	52	17,9	20,5	1347	333	33,8	98			
2000	57	18,6	20,7	1313	352	35,5	103	4		
2008	65	20,4	22,1	1053	390	36,5	106	19		
Proovitükk 3										
1963	20	7,4	10,1	6513	159	28,4	104			
1974	31	10,5	13	3987	241	34,4	115	19		
1981	38	12,2	15,1	2813	255	32,8	104	29		
1985	42	13,7	16,4	2307	287	34	105	27		
1991	48	14,6	17,5	1793	267	30	91	17		
1995	52	16,6	19,3	1620	330	35,1	103	28		
2000	57	18	20,3	1360	338	34,6	100	26		
2008	65	20,3	22,2	933	370	33,5	101	15		

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Sandra Kaasiku,
(sünnipäev pp/kuu/aa 4305316020)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö
Raiete mõju männipuude radiaalkasvule Järvelja hooldusraie katseala andmeil,
mille juhendaja on Maris Hordo, Hardi Tullus
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

allkiri

Tartu, 18.05.2017

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)